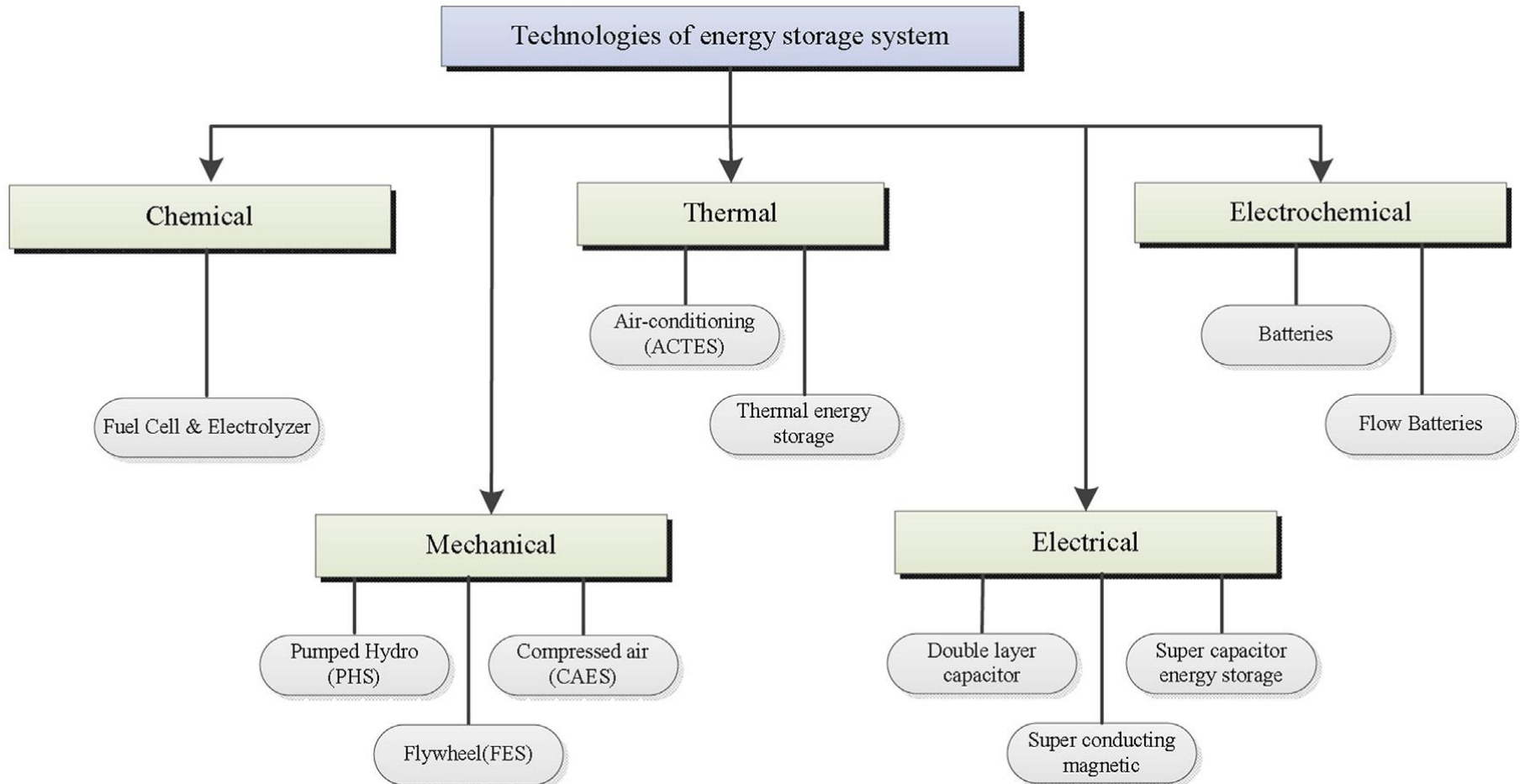




Sistemas de armazenamento e suas potenciais contribuições no setor elétrico

Sergio Valdir Bajay
MCPAR Engenharia

Tecnologias de sistemas de armazenamento de energia



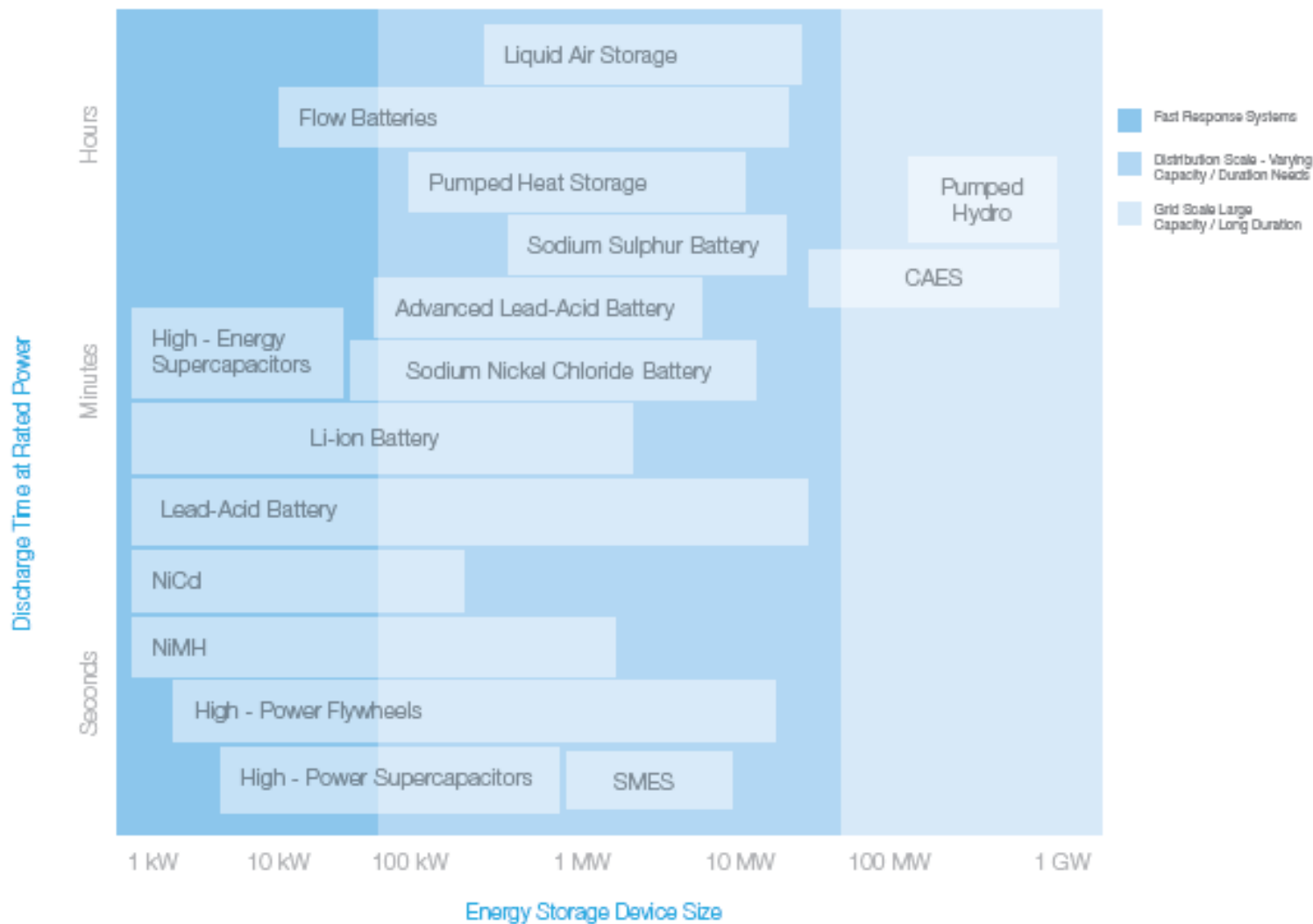
Capacidade instalada, em GW, por tipo de armazenamento

	Electro-mechanical	Electro-chemical	Thermal Storage	Pumped hydro storage	Grand Total
China		0.1	0.1	32.0	32.1
Japan		0.3		28.3	28.5
United States	0.2	0.7	0.8	22.6	24.2
Spain	0.0	0.0	1.1	8.0	9.1
Germany	0.9	0.1	0.0	6.5	7.6
Italy		0.1	0.0	7.1	7.1
India		0.0	0.2	6.8	7.0
Switzerland	0.0	0.0		6.4	6.4
France	0.0	0.0	0.0	5.8	5.8
Republic of Korea		0.4		4.7	5.1
Grand Total	1.1	1.6	2.3	128.1	133.1

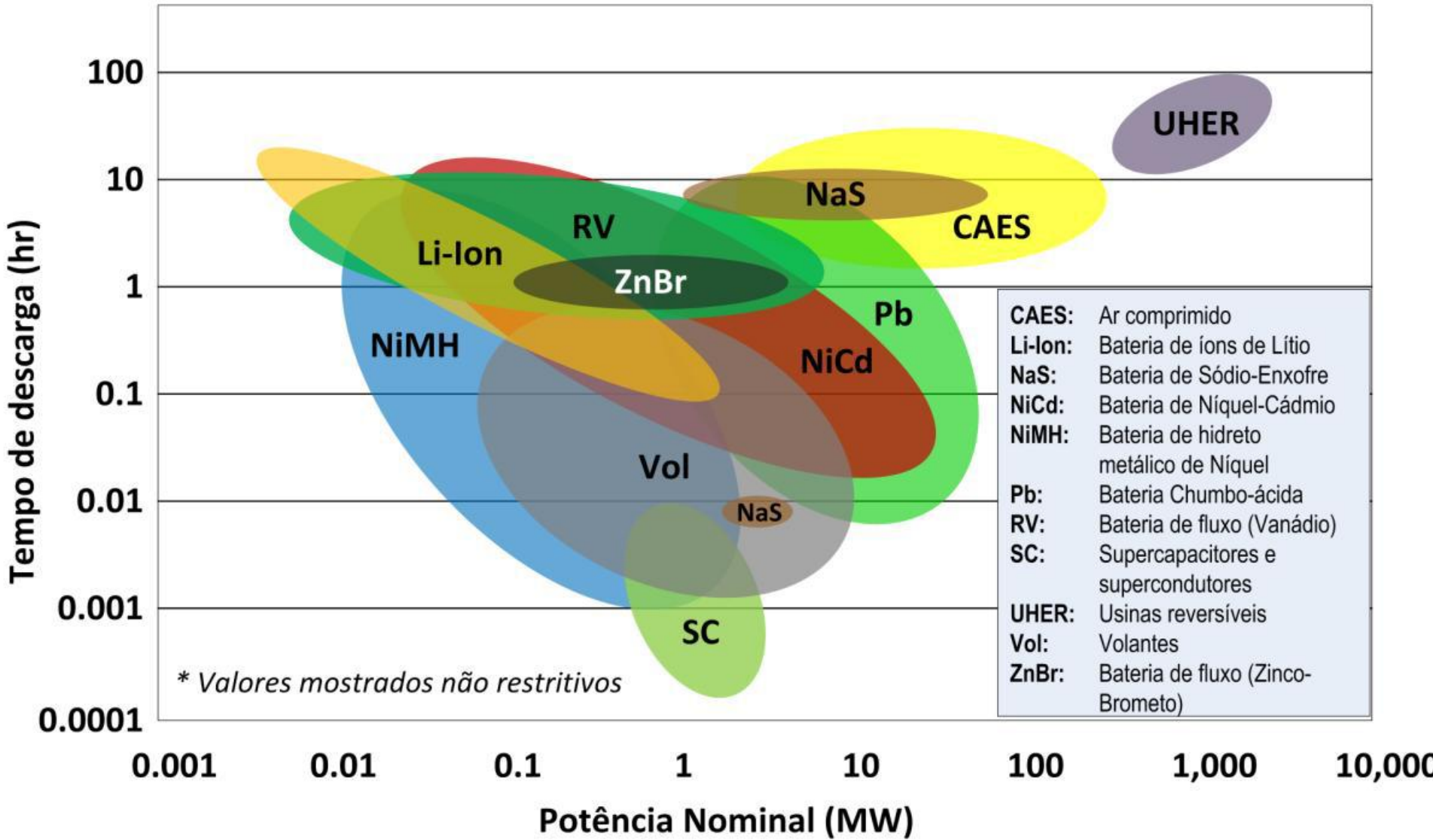
Fonte: DOE, 2017

Verifica-se, na tabela acima, que as usinas hidrelétricas reversíveis responderam, em 2017, por 96,2% do total de armazenamento de energia elétrica em nível mundial.

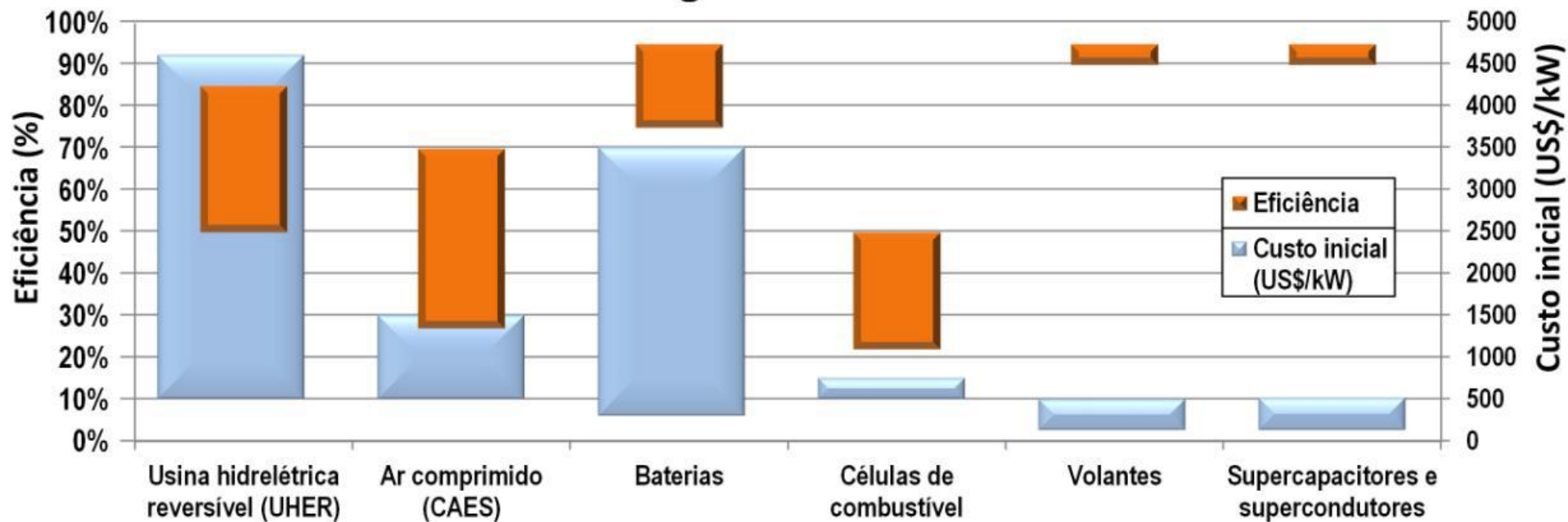
Tecnologias de armazenamento de energia: tempos de descarga vs. capacidade dos equipamentos



Armazenamento de energia elétrica: Potência e Tempo de descarga*



Armazenamento de energia elétrica: Custo inicial e Eficiência

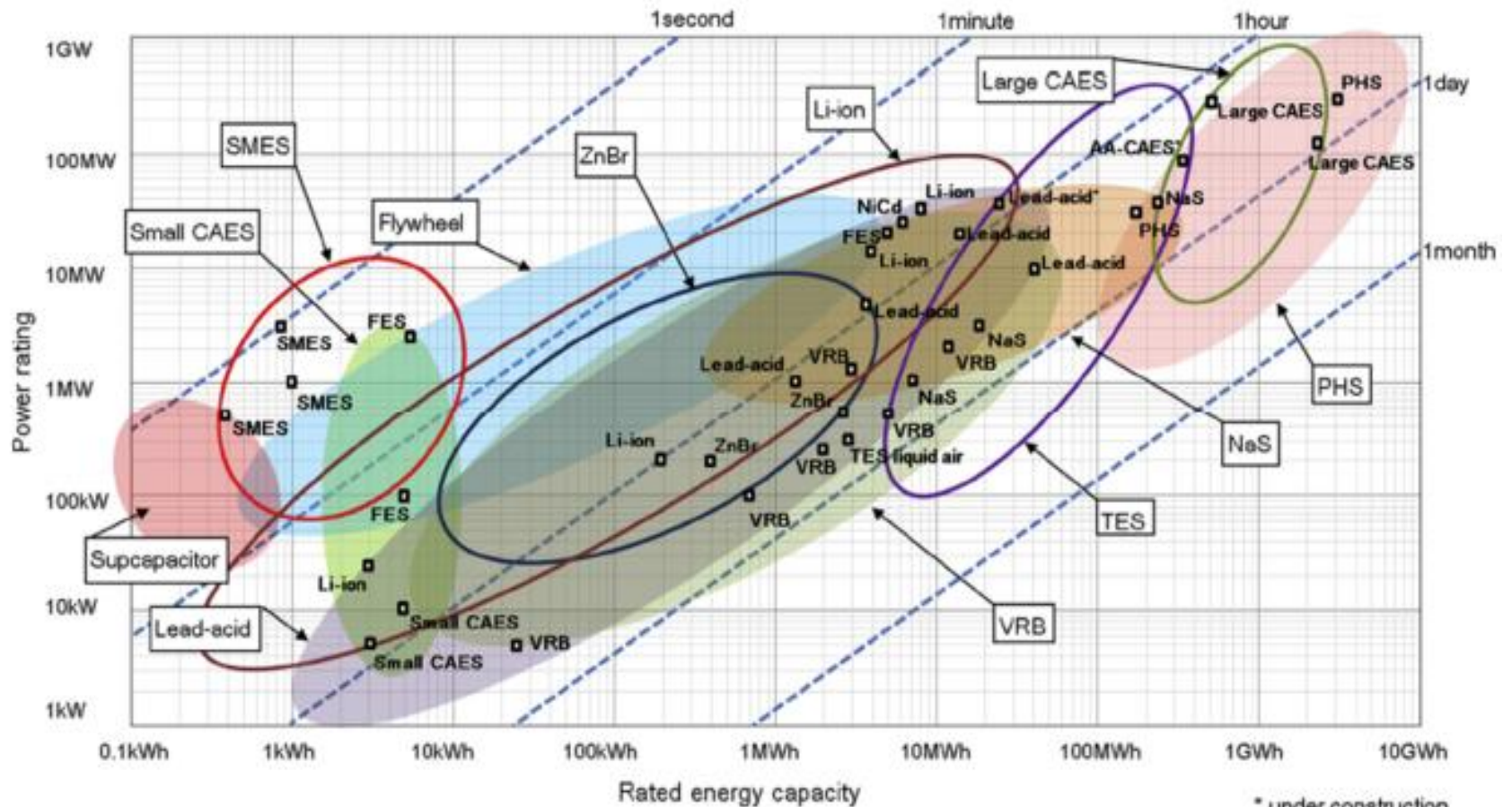


Vantagens e desvantagens de diversas tecnologias de armazenamento de energia

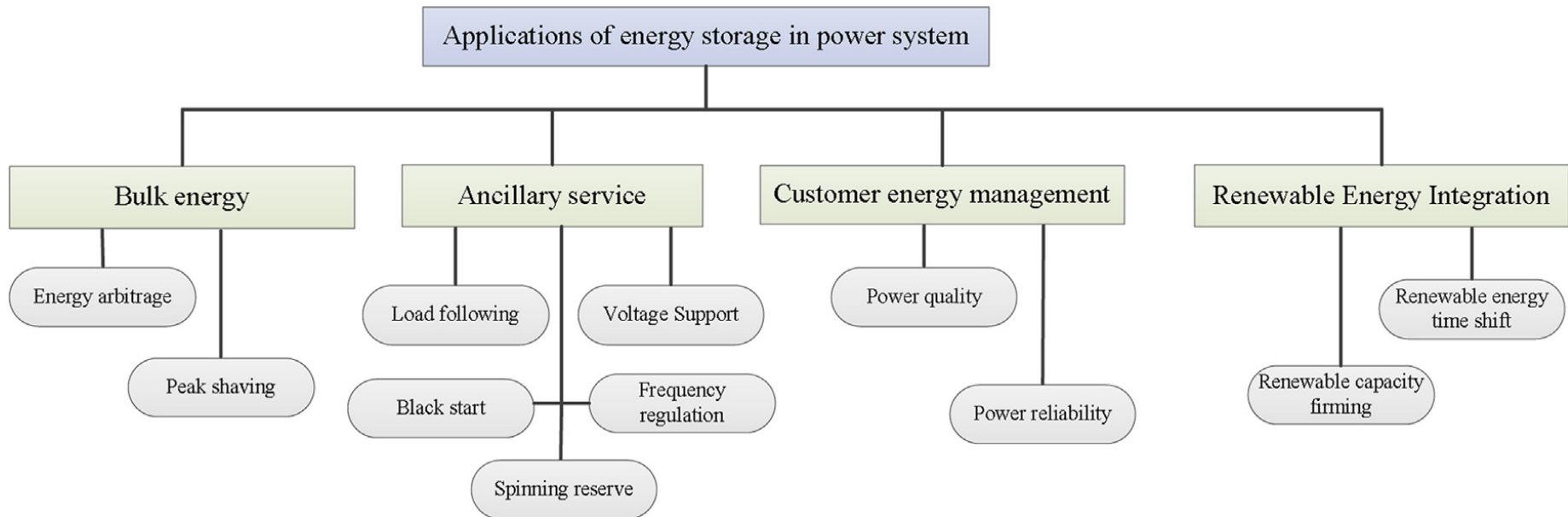
Tipo	Forma de armazenamento	Vantagens	Desvantagens
<i>Flywheel</i> (FARROKABHADI et al, 2017), (OBERHOFER, 2012).	Energia motriz (inércia mecânica)	Elevada vida útil (até 20 anos); Manutenção reduzida; Elevada Eficiência (até 90%); Ausência de componentes tóxicos.	Alto Custo de Aquisição; Elevadas taxas de auto-descarga (até 20%); Descargas em curtos períodos de tempo (no máximo alguns minutos)
Supercapacitores (SIMON et al, 2008), (ASLANI, 2012), (TECATE GROUP, 2015), (FUCHS et al, 2012)	Campo elétrico	Elevada vida útil (até 15 anos); Elevada Eficiência (até 94%); Alta capacidade de carga; Pequena resistência equivalente série (ESR); Alta velocidade de carga; Carga rápida e descarga profunda sem afetar a vida útil.	Elevada taxa de auto-descarga; Descarga rápida (no máximo alguns minutos); Baixa tensão por célula; Impossibilidade de aplicação em rede alternada; Pequena densidade de energia.
SMES (FUCHS et al, 2012), (OBERHOFER, 2012),	Campo Magnético	Não é constituído por elementos tóxicos; Tempo de resposta rápido; Realização de descargas parciais ou totais sem afetar sua vida útil; Elevada durabilidade; Elevada Capacidade de armazenamento;	Alto custo de montagem; Necessidade de sistema de criogenia de alta potência; Escassez de ligas metálicas para uso como supercondutor.

<i>Pumped Hydro</i> (MONTEIRO, 2017), (FUCHS et al, 2012)	Energia Mecânica (gravitacional)	Tecnologia Madura; Elevada vida útil (até 80 anos); Auto-descarga praticamente nula; Considerável Eficiência (75 a 82%).	Pequena densidade de energia; Elevado tempo para <i>payback</i> (por volta de 30 anos); Investimento inicial elevado; Restrição geográfica (grandes áreas com elevado desnível necessárias)
CAES (OBERHOFER, 2012), (FUCHS et al, 2012)	Energia Mecânica	Elevada vida útil; Área de ocupação sobre o solo reduzida; Pequena taxa de auto-descarga; Custo reduzido para armazenamento do ar comprimido.	Elevado tempo para <i>payback</i> (30 anos); Alto custo de investimento; Restrição geográfica (necessário caverna para pressurização do ar); Apenas unidades com elevada capacidade de geração são viáveis economicamente.
Bateria Eletroquímica (HU et al, 2017), (ANEKE et al, 2016), (SCHWEBER, 2015).	Energia Química	(Variam de acordo com a tecnologia empregada): Vida útil entre 100 e 12000 ciclos Eficiência entre 75 a 97%.	Possibilidade de efeito memória (dependendo da tecnologia); Possibilidade de consideráveis taxas de auto-descarga; Custo pode ser elevado (dependendo da tecnologia);

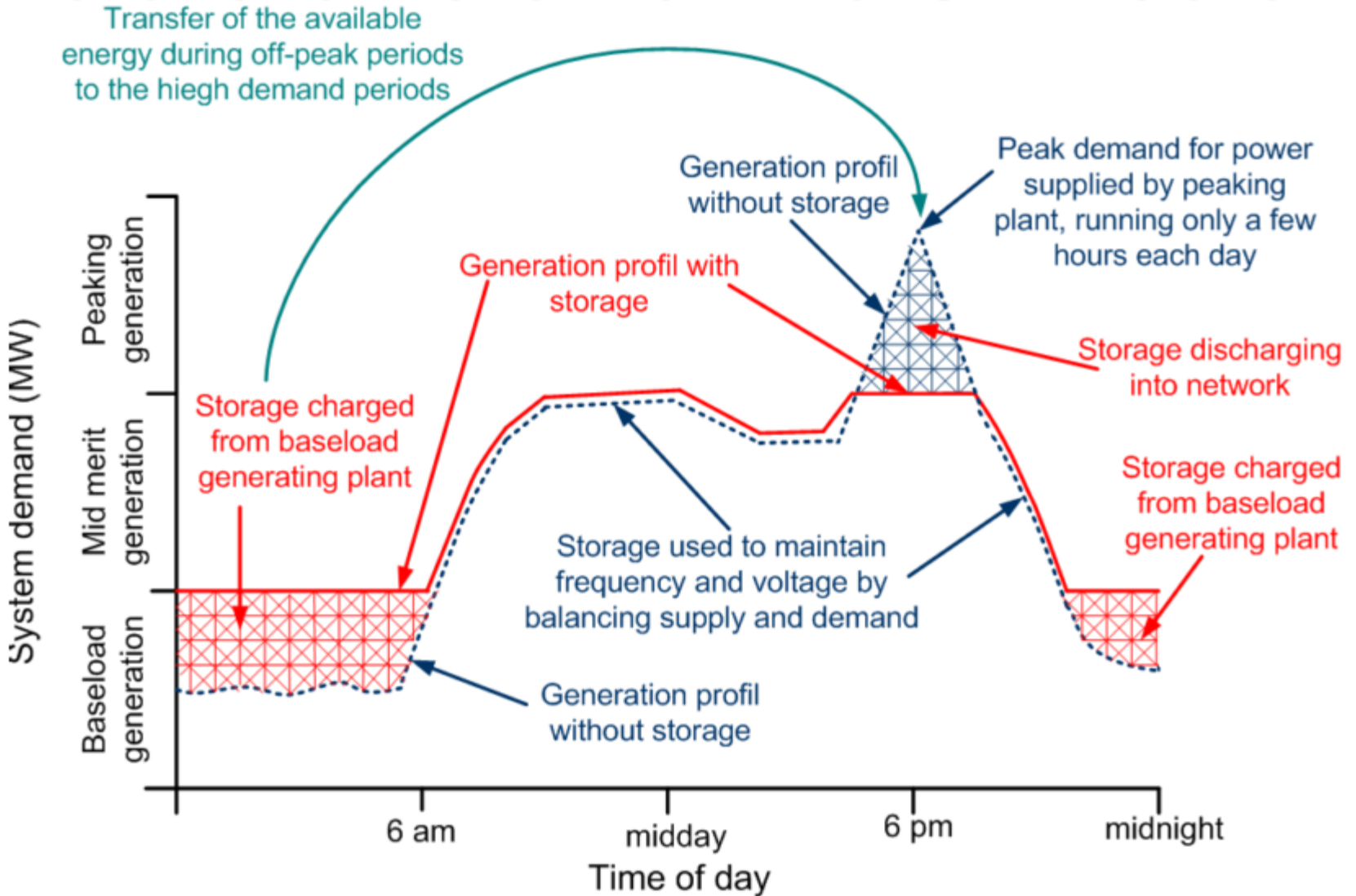
Faixas de aplicação recomendadas para diversas tecnologias de armazenamento de energia



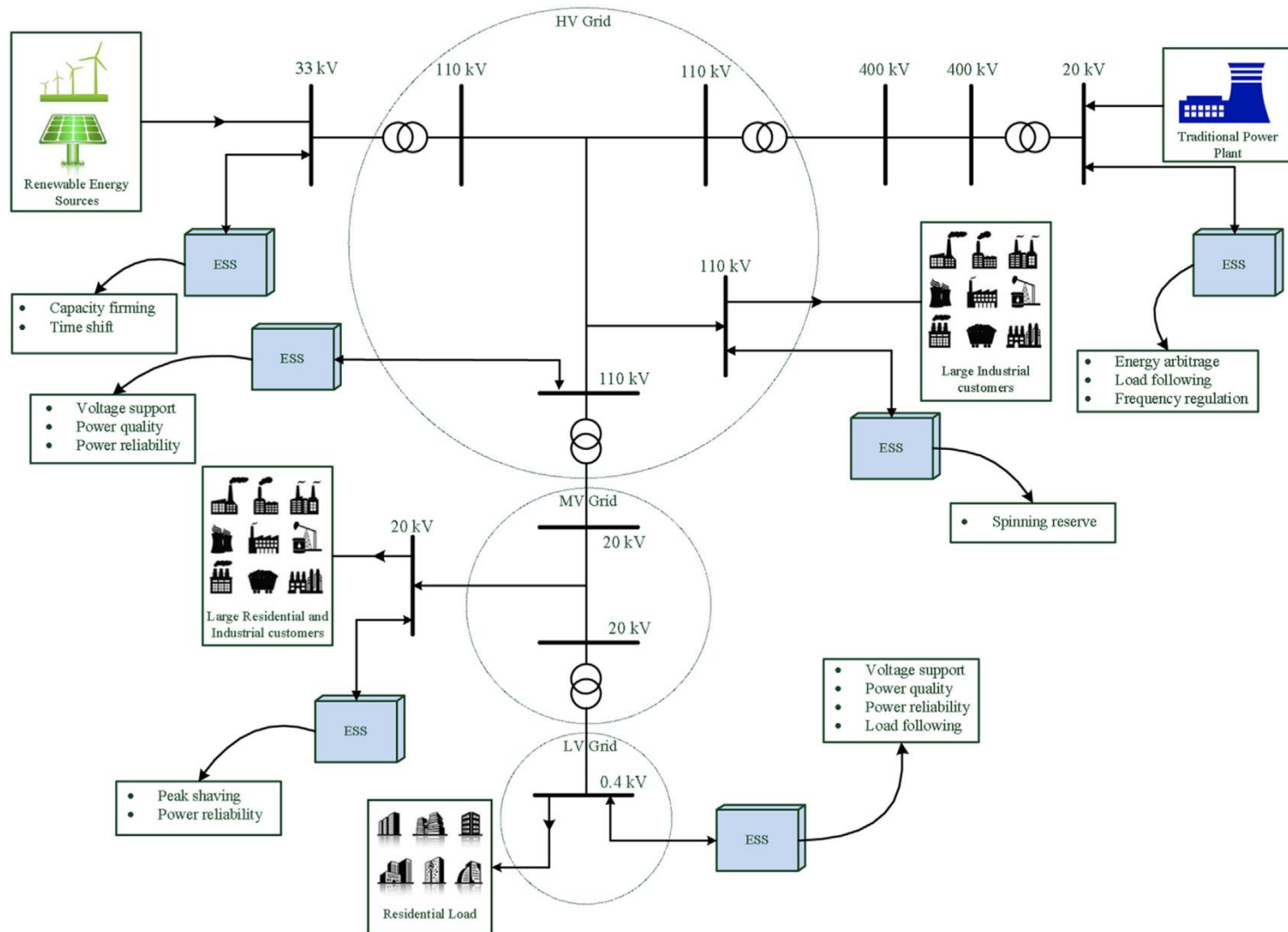
Aplicações do armazenamento de energia em sistemas de potência



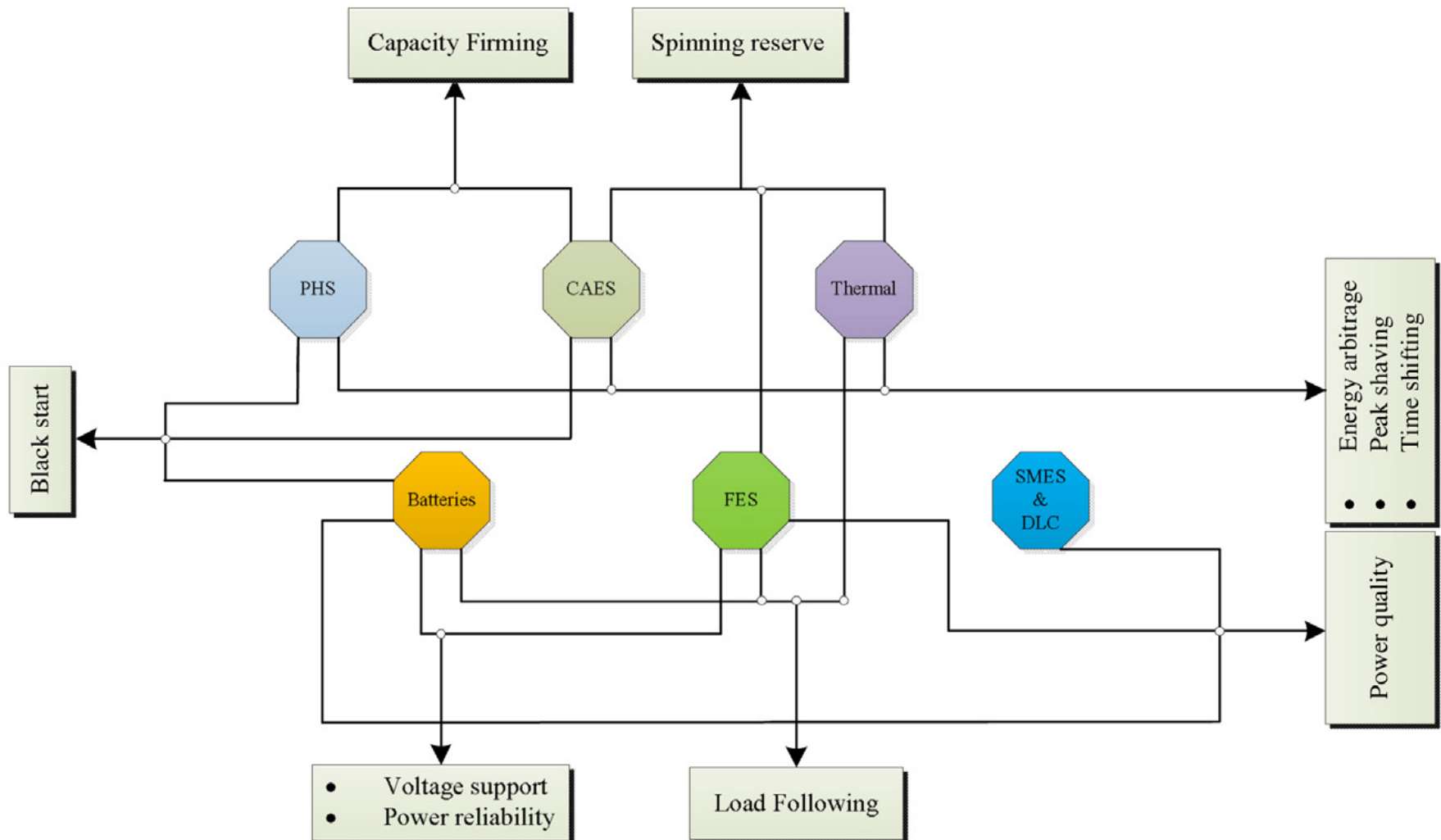
Curva de carga típica com deslocamento de energia por meio de sistemas de armazenamento



Funções e localização dos sistemas de armazenamento de energia em um sistema de potência



Possibilidades de integração de sistemas de armazenamento de energia



bajay@fem.unicamp.br